

ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 01417, ПОДВЕРГНУТОГО ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Медведев А.Е.

Руководитель – к.т.н., с.н.с. Мурашкин М.Ю.

¹ Институт физики перспективных материалов, Уфимский
государственных авиационный технический университет, г. Уфа, Россия
deckard@list.ru, maxmur@mail.rb.ru

В России при изготовлении токопроводящих жил для авиации, как правило, используется сплав 01417 с содержанием РЗМ до 9 масс. % [1,2]. Известно, что основной структурной составляющей, определяющей повышенную терморезистивность и технологическую пластичность данного сплава, является дисперсность и однородность распределения в алюминиевой матрице эвтектической фазы (α +Al₄Mn). В этой связи в настоящее время проводятся исследования по развитию методов получения сплавов типа 01417, например таких, как непрерывное литье в электромагнитный кристаллизатор (ЭМК) [2] и механическое легирование [3].

Целью настоящего исследования являлось установление возможности улучшения механических и электрических свойств сплава 01417 за счет измельчения микроструктуры интенсивной пластической деформацией (ИПД).

Исходные заготовки сплава были получены методом непрерывного литья в ЭМК. Их микроструктура, сформированная в ходе электромагнитного воздействия при кристаллизации, однородна по сечению заготовки (Рис. 1а) и представляет собой дендритную структуру, образованную эвтектикой закристаллизованной в виде корсета в алюминиевой матрице. Количественный анализ показал, что объемная доля эвтектики в материале достигает 47 %, а средний размер дендритной ячейки составляет 5,2 мкм.

Также в результате электронно-микроскопического анализа было установлено, что корсет из эвтектической фазы образован дисперсными пластинами толщиной до 150 нм и протяженностью до нескольких микрон (Рис. 1б).

Механические и электрические свойства исходных заготовок сплава 01417 представлены в таблице 1.

С целью измельчения микроструктуры заготовки сплава диаметром 20 мм и толщиной 1.5 мм были подвергнуты интенсивной пластической деформации кручением (ИПДК) при комнатной температуре, приложенном давлении 6 ГПа и количестве оборотов подвижной наковальни 10. После деформации часть образцов отжигали в течение 400

часов при температуре 250°C, а также при 400°C, 1 час. Данный режим отжига, согласно международному стандарту IEC 62004:2007 Thermal-resistant aluminium alloy wire for overhead line conductor, эквивалентен термообработке, используемой для определения терморезистивности алюминиевых проводников в течение 400 часов при температуре 310°C.

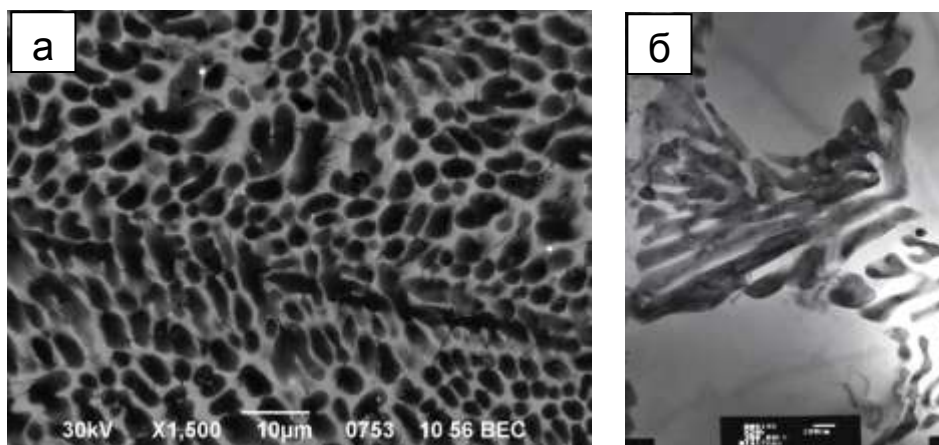


Рис.1. Исходная микроструктура сплава: (а) метод РЭМ, (б) метод ПЭМ.

В таблице 1 представлены результаты исследования свойств образцов сплава подвергнутых ИПДК и отжигу по вышеуказанным режимам.

Таблица 1

Режим обработки	ω , МСм/м	IACS, %	σ_B , МПа	δ , %
Исходное состояние	28,74	49,6	$209,2 \pm 2,3$	$25,7 \pm 1,9$
ИПДК при КТ	21,48	37,0	$653,5 \pm 5,3$	$16,7 \pm 0,5$
ИПДК + отжиг 250°C, 400 ч.	25,70	43,5	$632,5 \pm 3,1$	$17,1 \pm 0,2$
ИПДК + отжиг 400°C, 1 ч.	30,36	52,3	$311,5 \pm 5,9$	$19,6 \pm 1,4$
ω - удельная электрическая проводимость; IACS - номинальное значение удельного электрического сопротивления относительно 20°C, принятое в качестве стандартного значения				

Из полученных данных следует, что после обработки ИПДК образцы сплава 01417 демонстрируют прочность, превышающую прочность исходного материала более чем в 3 раза. Достигнутый уровень прочности ($\sigma_B = 653,5$ МПа) после ИПДК в образцах сплава 01417 с содержанием РЗМ 8,5 масс. % превосходит почти в два раза прочность заготовок порошкового сплава Al-10 % РЗМ (содержащего La и Ce), полученных методом механического легирования [3].

В результате исследования терморезистивности деформированных образцов было установлено, что они практически не разупрочняются после отжига 400 часов при температуре 250°C, а после отжига 400°C, 1 час,

эквивалентного отжигу 400 часов при температуре 310°C, их предел прочности и удельная электрическая проводимость составляют 311.5 МПа и 30.36 МСм/м (52.3 % IACS), соответственно. Таким образом, было показано, что достигнутый уровень прочности в сплаве 01417 подвергнутом ИПДК и отжигу, значительно превышает уровень прочности тонкой проволоки полученной из аналогичного материала после традиционной обработки ($\sigma_B = 255$ МПа) [1].

Для объяснения природы достижения в материале исследования высоких значений прочности и удовлетворительной электрической проводимости, были проведены исследования микроструктуры образцов сплава 01417 после обработки ИПДК.

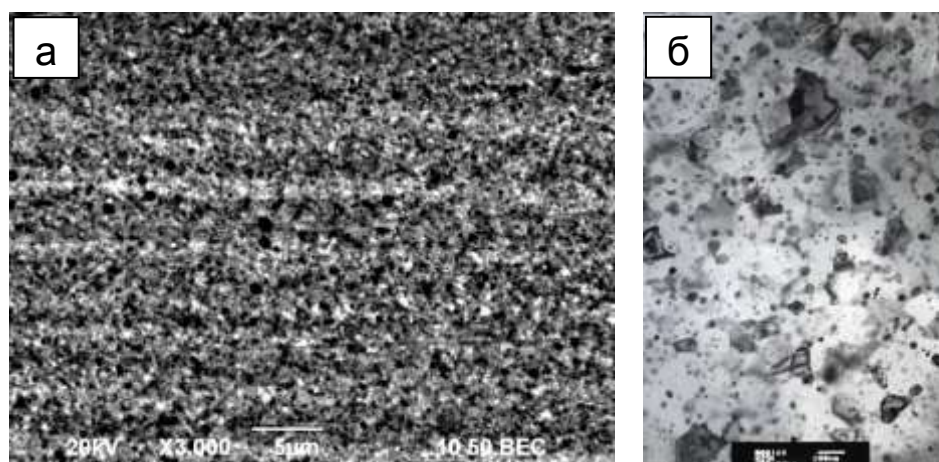


Рис.2. Микроструктура сплава после ИПДК: (а) РЭМ, (б) ПЭМ

Анализ микроструктуры деформированных образцов показал, что в результате ИПДК эвтектическая фаза ($\alpha + Al_4Mn$) равномерно распределилась в объеме материала (Рис. 2а), стала глобулярной формы, а ее средний размер составил 28,2 нм (Рис. 2б). Наряду с измельчением эвтектической фазы в процессе деформации в алюминиевой матрице была сформирована однородная ультрамелкозернистая (УМЗ) структура со средним размером зерна 180 нм.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование методов ИПД более эффективно для измельчения микроструктуры и улучшения комплекса свойств сплавов системы Al-PЗМ, в сравнении с известными методами обработки.

[1] Матвеев Ю.А., Гаврилова В.П., Баранов В.В. // Кабели и провода, 2006, №5, 300, С. 22-23;

[2] Д.К. Фигуровский, М.В. Петрухин, Е.В. Романова // Материалы VII Международной научно-технической конференции INTERMATIC, Часть 2, 27 – 11 декабря 2009 г, Москва, С.189-193;

[3] Кузьмич Ю.В., Фрейдин Б.М., Колесникова И.Г. и др. // Перспективные материалы, 2009, №6, С.69-75